

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเหลือง (Soybean)

ถั่วเหลืองเป็นพืชอยู่ในตระกูล Leguminosae มีชื่อวิทยาศาสตร์หลายชื่อ เช่น *Glycine soja*, *Soja hispida*, *Phaseolus max* เป็นต้น แต่ชื่อที่ยอมรับกันในปัจจุบันคือ *Glycine max* (L.) Merrill ส่วนชื่อสามัญเรียกต่างกันไปเช่น Soja bean , Chinese pea และ Soybean ซึ่งชื่อ Soybean เป็นที่ยอมรับกันมากที่สุด (อภิพรธ, 2546)

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการเป็นแหล่งของ ไขมันและ โปรตีนที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เมล็ดถั่วเหลืองมีหลายขนาด เปลือกถั่วเหลืองที่แก่แล้วจะแข็งแรงทนต่อน้ำ ถ้าส่วนห่อหุ้มเมล็ดแตก ถั่วเหลืองอาจจะไม่งอก และรอยที่คล้ายแผลเป็น สามารถเห็นได้ชัดเจนบนส่วนห่อหุ้มเมล็ดนั้นเรียกว่า hilum หรือ แผลเป็นบนเมล็ดพืช และเป็นคล้ายรูเปิดเล็กๆที่สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้

2.1.2 ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง

อาหารที่ทำจากถั่วเหลืองของประเทศในแถบเอเชีย เช่น ไทย จีน ญี่ปุ่น และประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก และผ่านการหมักก่อน ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก ได้แก่ น้านมถั่วเหลือง เต้าหู้ ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลือง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง ได้แก่ ถั่วเน่า เทมเป้ ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้น ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญในหลายประเทศ การสกัดน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวทำละลายส่วนที่เหลืองจะเป็นเนื้อถั่วที่อุดมด้วย โปรตีน ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารได้ เช่น เนื้อเทียม (โปรตีนเกษตร) แป้ง เบเกอร์รี่ เป็นต้น ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายๆประเทศ เพื่อเป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่นั้น ได้แก่ ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง เนยถั่วเหลือง อีกทั้งยังมีผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากถั่วเหลืองอีกด้วย (อภิพรธ, 2546)

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนและไขมันที่สำคัญของมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ความชื้น เส้นใยและเถ้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
โปรตีน	34.81
คาร์โบไฮเดรต	35.6
ไขมัน	19.73
ความชื้น	7.50
เส้นใย	5.29
เถ้า	4.57

ที่มา : Rehman และคณะ (2007)

2.2 เปลือกถั่วเหลือง (Soybean hull)

ถ้าถั่วเหลืองทั้งเมล็ดคิดเป็น 100 ส่วน 8 ส่วน ของถั่วเหลืองทั้งเมล็ด คือเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งเปลือกหุ้มเมล็ดทำหน้าที่ป้องกันส่วนใบเลี้ยง (cotyledon) และ ต้นอ่อน (hypocotyls) จากการถูกทำลาย จึงทำให้ส่วนของเปลือกเป็นส่วนที่ยากแก่การเอาออก

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของเปลือกถั่วเหลือง

สารอาหาร	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
คาร์โบไฮเดรต	85.7
โปรตีน	9
ความชื้น	7.8
เถ้า	4.3
ไขมัน	1

ที่มา: Liu, (1997)

ในส่วนของไขมัน 1 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย กรดไขมันหลายชนิดคือ กรดปาล์มติก 23.2 มิลลิกรัม กรดสเตียริก 14.8 มิลลิกรัม กรดโอเลอิก 14.9 มิลลิกรัม กรดไลโนเลอิก 22.7 มิลลิกรัม อีกทั้งยังประกอบด้วยพวกลีพิด 3 ชนิด คือ แคมเปสเตอร์อล (campesterol) สติกมาสเตอร์อล (stigmasterol) และ เบต้า ไซโตสเตอร์อล (beta-sitosterol) เมื่อคิดเป็นสัดส่วนคือ 1 : 1.5 : 2

เปลือกถั่วเหลืองเป็นส่วนหนึ่งของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาเปลือกถั่วเหลืองไปเป็นอาหารสัตว์ อีกทั้งยังได้มีผู้ค้นคว้าวิจัยให้เปลือกถั่วเหลืองเป็นแหล่งของใยอาหารที่สำคัญของมนุษย์ และมีคุณสมบัติในการลดระดับคอเลสเตอรอลในน้ำเหลือง (Graf and Eaton., 1993) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีผู้พัฒนาเปลือกถั่วเหลืองไปเป็นแหล่งใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบ และเปลือกถั่วเหลืองยังอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในถั่วเหลืองพบว่ามีธาตุเหล็ก 32 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเปลือกถั่วเหลือง ดังนั้นจึงได้มีการนำเปลือกถั่วเหลืองมาเป็นแหล่งของธาตุเหล็กในผลิตภัณฑ์ขนมอบและผลิตภัณฑ์อาหารเข้าซีเรียล (Liu., 1997)

2.3 ถั่วเขียว (Mung bean)

ถั่วเขียวเป็นพืชล้มลุกประเภทใบเลี้ยงคู่ อยู่ในวงศ์ Leguminosae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Vigna radiate* (L.) Witzek (ทรงเช่าวี, 2531) เป็นพืชตระกูลถั่วที่คนไทยนิยมบริโภคเป็นอาหารคาวอาหารหวาน แหล่งปลูกถั่วเขียวในประเทศไทย ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (อภิพรธ, 2546) ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและนิยมปลูกกันแพร่หลายในประเทศไทยเพราะเป็นพืชที่ปลูกง่าย ปลูกได้ดีในดินแทบทุกชนิด มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นปลูกได้ตลอดปี การปฏิบัติดูแลน้อยเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น เกษตรกรนิยมปลูกถั่วเขียวเป็นพืชหมุนเวียนกับข้าวและพืชไร่ต่างๆ ผลผลิตถั่วเขียวที่ได้ทั้งหมดมาจากถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวด้านประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นถั่วเขียวผิวดำ

โครงสร้างของเมล็ดถั่วเขียวมีลักษณะกลมจนถึงวงรี มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) 12.1 เปอร์เซ็นต์ ต้นอ่อน (embryo) 2.3 เปอร์เซ็นต์ และใบเลี้ยง (cotyledon) 85.6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ด แต่ละส่วนของถั่วเขียวมีปริมาณสารอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน ส่วนของต้นอ่อนมีปริมาณโปรตีนและไขมันมากที่สุด ในขณะที่ส่วนของใบเลี้ยงจะมีแป้งมากที่สุด และในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดมีกากใยประเภท เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และ ลิกนิน (lignin) มากที่สุด (Adsule *et al.*, 1989) องค์ประกอบทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเขียวแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารอาหารในเมล็ดถั่วเขียว 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ (กรัม)
โปรตีน	10.6
ไขมัน	0.6
เถ้า	3
กากใย	25.6
แป้ง	60.2
ฟอสฟอรัส	0.04
แคลเซียม	0.18
เหล็ก (มิลลิกรัม)	7.0

ที่มา: Adsule และคณะ (1989)

2.4 เปลือกถั่วเขียว (Mung bean hull)

ปริมาณสารอาหาร โปรตีน ไขมัน เถ้าและความชื้น ในเปลือกถั่วเขียวแต่ละชนิดมีปริมาณแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางโภชนาการของเปลือกถั่วเขียว 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณสารอาหารของเปลือกถั่วงอก (กรัม)	ปริมาณสารอาหารของเปลือกฝัก (กรัม)	ปริมาณสารอาหารของเปลือกหุ้มเมล็ด (กรัม)
โปรตีน	4.73	5.53	8.15
คาร์โบไฮเดรต	40.67	84.51	78.1
ไขมัน	0.44	1.01	2.06
เถ้า	0.03	0.07	0.04
ความชื้น	54.13	8.88	11.65

ที่มา: Adsule และคณะ (1989)

ปริมาณโปรตีนพบมากที่สุดในเปลือกหุ้มเมล็ด รองลงมาคือ เปลือกฝักและเปลือกถั่วงอก 8.15 กรัม 5.53 กรัมและ 4.73 กรัม ตามลำดับ ปริมาณไขมันพบมากที่สุดในเปลือกหุ้มเมล็ด รองลงมาคือ เปลือกฝักและเปลือกถั่วงอก 2.06 กรัม 1.01 กรัม และ 0.44 กรัม ตามลำดับ ความชื้นมีมากในเปลือก

ถั่วออก รองลงมาคือเปลือกหุ้มเมล็ด และเปลือกฝัก 54.16 กรัม 11.65 กรัม และ 8.88 กรัม ตามลำดับ (Adsule *et al.*, 1989)

2.5 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารใดๆที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยอิสระ โดยที่โมเลกุลจะประกอบด้วยอิเล็กตรอนวงนอกที่ไม่ได้จับคู่ (unpair electron) เพียงหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งขึ้นไป ซึ่งการมีอิเล็กตรอนวงนอกที่ไม่ได้จับคู่ทำให้อนุมูลอิสระไวต่อปฏิกิริยาในการที่จะดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นเพื่อกลับคืนเป็น โมเลกุลที่มีความคงตัว (Willcox *et al.*, 2004) และเกิดปฏิกิริยาการดึงอิเล็กตรอนต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ (เพ็ญญา, 2548)

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ สารขจัดอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น กรดยูริก บิลิรูบิน จะกำจัดอนุมูลอิสระ ส่วนวิตามินซี วิตามินอี กลูตาไทโอน เบตาแคโรทีน และยูบิควิโนน จะหยุดปฏิกิริยาของการเกิดอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระประเภทหลังมีบทบาทสำคัญในการทำให้ออกซิเดชันของไขมันสิ้นสุดลง สารต้านอนุมูลอิสระที่กล่าวมามีโครงสร้างทางเคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน เช่น วิตามินอี มีโครงสร้างเคมีที่ละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นจึงสามารถเข้าไปออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ได้ วิตามินอี จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ วิตามินอีจะทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลลิพิดเปอร์ออกซี (lipid peroxy) และได้เป็นอนุมูลวิตามินอี ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีความไวต่ำ ทำให้ไม่สามารถเกิดลิพิดเปอร์ออกซีเดชันต่อไปได้

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1.) สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ ได้แก่ บิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole (BHA)) บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene (BHT)) และ โพรพิลแกลเลต (propyl gallate (PG)) ใช้เติมลงในอาหารเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบของไขมันและน้ำมันในอาหาร (Maisuthisakul *et al.*, 2007 ; Yamazaki *et al.*, 2007)

2.) สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (Natural antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในธรรมชาติมี 4 ประเภท (Frankel and Meyer, 2000) ได้แก่

(1) สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คาตาเลส (catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เป็นต้น

(2) สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอี ซี และเอ

(3) สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของแร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียมและสังกะสี ซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่ต้านออกซิเดชัน

(4) สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มของสารพฤกษเคมี (phytochemicals) เช่น แครโรทีน (carotene) ไลโคปีน (licopen) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นต้น

2.7 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารพฤกษเคมีที่พบได้ทั่วไปในพืชหลายชนิด ปัจจุบันได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเจ็บป่วยและการเกิดโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ อันมีสาเหตุมาจากภาวะ oxidative stress ภายในร่างกาย นอกจากนี้ยังนำมาใช้กับอาหาร เพื่อเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในการป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร อันมีสาเหตุเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบไขมันในอาหาร

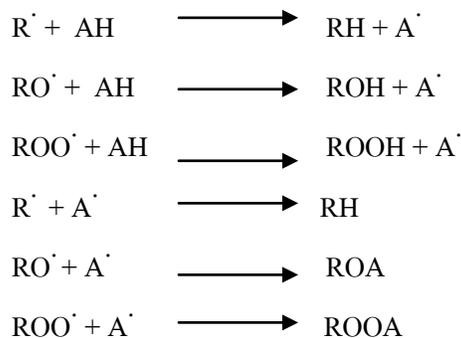
2.7.1 ลักษณะทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบในกลุ่ม secondary metabolite ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิถี เพนโตสฟอสเฟตชิคิเมต (pentose phosphate shikimate) และฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) ที่พบในพืช มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืช รวมทั้งช่วยปกป้องพืชจากการติดเชื้อหรือถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ และยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสีและกลิ่นรสในผักผลไม้อีกด้วย โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกจะพบมากบริเวณผิวชั้นนอกของพืช เช่น เปลือก เพื่อทำหน้าที่ปกป้องสารต่างๆที่อยู่ภายใน โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ตั้งแต่ 1 หมู่ขึ้นไปมาเกาะอยู่ มีโครงสร้างตั้งแต่โมเลกุลอย่างง่ายไปจนถึงโครงสร้างที่เป็นโพลีเมอร์ ในธรรมชาติสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระ (free form) จะพบได้เพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่จะพบในรูปที่รวมอยู่กับสารประกอบอื่นๆ (bound form) ซึ่ง

มีทั้งชนิดที่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (conjugated forms/soluble phenolics) และที่อยู่ในรูปที่จับกับสารโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช (insoluble bound forms/insoluble phenolics) โดยมักพบสารประกอบฟีนอลิกรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโลส (xylose) อะราบินโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น กรดกลูโคโนิก (glucuronic acid) กรดกาแลคตูโลนิก (galacturonic acid) ในรูปไกลโคไซด์ (glycosides) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ กรดอินทรีย์ ไบมัน ฟีนอลิก และอะมีน (Balasundram *et al.*, 2006 ; Karakaya, 2004 ; Podsedek, 2007 ; วิวัฒน์, 2545)

2.7.2 สมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ทั้งในอาหารและระบบของสิ่งมีชีวิต โดยการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบไขมันในอาหารหรือกำจัดอนุมูลอิสระที่มากเกินไปอันเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะการเจ็บป่วยต่างๆ ซึ่งการที่สารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น เกี่ยวเนื่องกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระมีความคงตัวและมีพลังงานน้อยลงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นเพื่อเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระต่อไปได้อีก นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระต่อไปได้อีก นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีก ทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ โดยแสดงดังปฏิกิริยา (พิชญ์อร, 2547 ; วิวัฒน์, 2545 ; Balasundram *et al.*, 2006)



2.7.3 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งได้แก่ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แสงและเอนไซม์ รวมถึงการรวมตัวกับโมเลกุลอื่น (วิวัฒน์, 2545)

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทต่อสมบัติของการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูป มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกแตกตัวเป็น โมเลกุลเล็กๆ และระเหยกลายเป็นไอ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ $C_6-C_3-C_6$ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและวงแหวน A จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์และจะระเหยไปพร้อมกับน้ำ

3. แสง

แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก เช่น หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสงและไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนอีกด้วย

4. เอนไซม์

ในสภาวะที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) อยู่ด้วย จะเร่งการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดให้เกิดเร็วขึ้นได้ แต่อัตราการเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไป เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอพิคาทีชิน ((-)-epicatechin) ได้ดีกว่าคาทีชิน ((+)-catechin)

5. การรวมตัวกับโมเลกุลอื่น

สารประกอบฟีนอลิก สามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โพรตีน โพลีแซคาไรด์ อัลคาร์อยด์และแอนโทไซยานินได้ง่าย ปฏิกิริยาที่เกิดอาจเป็นแบบผันกลับได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอนไซม์ และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกันและเกิดตะกอนแยกออกมาหรือเกิดพันธะโควาเลนต์ รวมกันเป็นสารใหม่ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ ปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ทำให้สารประกอบฟีนอลิกสูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

2.8 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน (Lipid peroxidation)

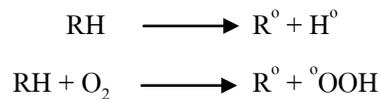
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมคุณภาพ (deterioration) นอกเหนือจากการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์ การเสื่อมคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันมักจะเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid) เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากกว่าหนึ่งพันธะในโครงสร้างซึ่งมีความว่องไวสูงจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ

ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ การเสื่อมคุณภาพเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจเกิดจากกลไกที่เกี่ยวข้องหรือไปเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ก็ได้ การเสื่อมคุณภาพที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์ เช่น การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก (hydrolytic) ในเนยเหลว โดยเอนไซม์ไลเปสจะไปย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอไรด์แล้วให้กรดไขมันสายสั้น เช่น กรดบิวทีริก (butyric acid) กรดคาไพริก (caprylic acid) และกรดคาพริก (capric acid) เป็นต้น ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเข้าสู่วงจรของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปทำให้เกิดกลิ่น รส ที่ไม่พึงประสงค์ในเนยเหลว เอนไซม์อีกชนิดหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ เอนไซม์ไลพอกซิเจเนส (lipoxygenase) พบมากในพืชตระกูลถั่ว การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิเจเนส จะไปออกซิไดซ์กรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะที่หมู่เมทิลีน (methylene) ซึ่งอยู่ระหว่างพันธะคู่ที่มีโครงสร้างแบบซิส (cis) เช่น กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะราชิโดนิก ทำให้เกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จนกระทั่งได้อนุมูลอิสระไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัวจะให้อนุมูลอิสระในแบบต่างๆทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ การควบคุมการเกิดออกซิเดชันที่มี

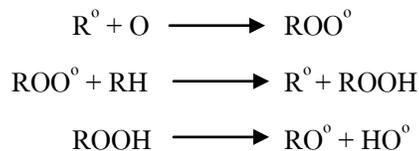
สาเหตุมาจากอนุมูลอิสระสามารถทำได้โดยทำลายอนุมูลอิสระให้หมดสภาพ เช่น การใช้ความร้อน การลดปริมาณความชื้นให้ต่ำหรือการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระ หรือเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกการเกิดได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ

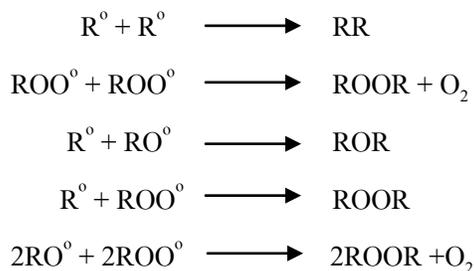


2. Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ



3. Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ

(non-radical products)



ปฏิกิริยาเริ่มต้นของการเกิดอนุมูลอิสระ เกิดจากการบดอัดที่อุณหภูมิสูงในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูญเสียไฮโดรเจน โดยมีความร้อน แสงสว่างและโลหะเป็นตัวเร่ง

ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, ROO[•]) ซึ่งอนุมูลเพอร์ออกซีจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันโมเลกุลใหม่ เพื่อดึงเอาไฮโดรเจนอะตอม ทำให้ได้ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) และเกิดอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon radical, R[•]) ขึ้นใหม่ ซึ่งอนุมูลอิสระ R[•] ที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องวนเวียนซ้ำไปเรื่อยๆ ส่วนไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นและเป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของปฏิกิริยาจะไม่คงตัว จึงเกิดปฏิกิริยาต่อไป โดยการสลายตัวหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างๆกัน ทำให้เกิดสารให้กลิ่นรสที่ไม่ดี และเมื่ออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากพอก็จะทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาที่จะหยุดลงแต่หากยังมีออกซิเจนมากพอก็จะเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาขั้นที่ 1 (Initiation) เพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่ (นิธิยา, 2545 ; Deman, 1999 ; Hamilton, 1994)

นอกจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์การอาหารยังให้ความสนใจกับการเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลมากขึ้น เนื่องจากผลผลิตที่เกิดขึ้นเป็นพิษต่อเซลล์ต่อหลอดเลือด ก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัวก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และเป็นสารก่อมะเร็ง ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลพบได้ในอาหารแปรรูปหลายชนิดที่มาจากสัตว์ เช่น ไข่แดง ไขมันที่ผ่านความร้อน ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์นม แต่จะไม่พบในน้ำมันที่มาจากพืช (นิธิยา, 2545) การเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลนั้นจะเกิดเมื่อมีการสัมผัสกับออกซิเจน ความร้อน แสง และรังสีต่างๆ สำหรับในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์นั้น อาจเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลจะเกิดในขั้นตอนของการให้ความร้อน การเก็บรักษาแบบแช่แข็ง และขั้นตอนต่างๆ ในระหว่างกระบวนการแปรรูป (Wang *et al.*, 1995)

ลิพิดออกซิเดชันเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และในเนื้อสัตว์ ซึ่งกระบวนการนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนสี กลิ่น รส ที่ไม่พึงประสงค์อีกทั้งยังทำให้เกิดการฟอร์มตัวของสารประกอบที่เป็นพิษในผลิตภัณฑ์ (Morrissey *et al.*, 1998) การเกิดออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากออกซิเจนสัมผัสกับไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ซึ่งมักเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากกว่าหนึ่งพันธะในโครงสร้าง และมีความไวสูงจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เมื่อเกิดการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะได้เป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็น primary oxidation product โดยมีสมบัติที่ไม่เสถียร เมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์แตกตัวให้อนุมูลอิสระในแบบต่างๆอาจจะสลายตัวหรือเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่น (secondary oxidation product) (Warner, 1997) ในขั้นนี้ จะเกิดการฟอร์มตัวของ conjugated dienes ขึ้นเนื่องจากพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์และเกิดการสูญเสีย

ไฮโดรเจนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ การเกิดการฟอร์มตัวของ conjugated dienes สามารถใช้บ่งชี้คุณภาพของอาหารประเภทไขมัน ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารด้วยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดในช่วงความยาวคลื่น 233-268 นาโนเมตร (Ronald *et al.*, 2004) จากการที่สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์มีสมบัติไม่เสถียรจึงสามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่น และเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างๆกันทำให้เกิดสารให้กลิ่นได้แก่ อัลเคน (alkanes) อัลคีน (alkenes) อัลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketones) แอลกอฮอล์ (alcohols) เอสเทอร์ (esters) ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นหืน และสามารถตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้โดยการวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ใช้หลักการของวิธีการวัดความเข้มของสารสีชมพูแดงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไทโอบาร์บิทรูริก (thiobarbituric) กับ oxidized lipids ได้เป็นสารประกอบที่มีสีชมพูแดง

2.8.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร

ไขมันและน้ำมันที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่างๆ หลายชนิดซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหารอาจทำหน้าที่ร่วมกันออกซิไดซ์ (co-oxidize) หรือทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว หรือผลผลิตที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างสลับซับซ้อน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีดังนี้

2.8.1.1 ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งการเกิดออกซิเดชันสามารถเกิดได้ทั้งกับกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว แต่อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันและระดับความไม่อิ่มตัว โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่าดังนี้ กรดอะราชิโดนิก (20:4) > กรดลิโนเลนิก (18:3) > กรดลิโอลลีค (18:2) > กรดโอเลอิก (18:1) นอกจากนี้ตำแหน่งและโครงสร้างของพันธะคู่ยังมีผลด้วยคือ กรดไขมันที่มีโครงสร้างแบบซิสไอโซเมอร์ (cis isomer) จะถูกออกซิไดซ์ได้เร็วกว่าทรานไอโซเมอร์ (trans isomer) และตำแหน่งที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกต (conjugated double bond) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่าพันธะคู่ที่ไม่ใช่แบบคอนจูเกต (non conjugated double bond) การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันอิ่มตัว แต่จะมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และเมื่อใช้

อุณหภูมิสูงในการแปรรูปอาหารเช่น การทอด กรดไขมันชนิดอิ่มตัวก็อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกัน

2.8.1.2 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อเยื่อสัตว์ ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีการสะสมไขมันอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกายแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เพศ อายุ และตำแหน่งเนื้อเยื่อ เมื่อนำเนื้อเยื่อจากสัตว์แต่ละชนิดมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จึงทำให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันจากการศึกษาของ Rhee และคณะ (1996) พบว่าเนื้อวัว และเนื้อหมูบด (เนื้อเยื่อส่วน longissimus dorsi และ semimembranosus) ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งมีอัตราการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อไก่ (เนื้อเยื่อส่วน thigh) เนื่องจากในเนื้อวัวและเนื้อหมูมีรงควัตถุสีเป็นองค์ประกอบมากกว่าเนื้อไก่ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อนำเนื้อสัตว์ดังกล่าวมาทำให้สุกเนื้อไก่จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากที่สุดเนื่องจากตำแหน่งของเนื้อไก่ที่นำมาใช้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าเนื้อวัวและเนื้อหมู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัตว์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน และยังพบอีกว่าตำแหน่งของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันก็มีผลทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างกันไป

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lee และคณะ (2006) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกถั่วลิสง โดยให้ความร้อนกับเปลือกถั่วที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 40 และ 60 นาที ก่อนทำการสกัดด้วยน้ำ พบว่า สารสกัดจากเปลือกถั่วลิสง มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น โดยเปลือกถั่วลิสงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะให้สารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

Katsube และคณะ (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิอบลมร้อนต่อความสามารถการต้านออกซิเดชัน และความคงตัวของสารประกอบโพลีฟีนอลในส่วนของกากผลมัลเบอร์รี่ (*Morus alba* L.) พบว่ากากของผลมัลเบอร์รี่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะมีผลต่อการต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกากของผลมัลเบอร์รี่ที่อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส และกากที่แช่เย็นพบว่าทั้งคู่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่ากากของผลมัลเบอร์รี่ที่ผ่านการอบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Kang และคณะ (2006) ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แก่ตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกส้ม พบว่าการให้ความร้อนในสภาวะดังกล่าวไม่ได้เป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดลดลง ซึ่งสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจะยังคงเดิม การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดจากการเกิดสารประกอบชนิดใหม่ในระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือส่งเสริมปฏิกิริยาออกซิเดชัน (prooxidations)

Sousa และคณะ (2008) ศึกษาผลของสารละลายและอุณหภูมิในการสกัดสารสกัดจากมะกอก (*alcaparras*) โดยเปรียบเทียบการสกัดด้วยน้ำ และเมธานอลที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ และเมธานอล ได้พบว่าสารสกัดจากมะกอก (*alcaparras*) ทำการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง และการสกัดด้วยเมธานอลที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิจุดเดือดของเมธานอลเอง

Kirca และคณะ (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิ และพีเอชต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในแครอทสีดํา พบว่าการสกัดสารแอนโทไซยานินจากแครอทสีดําที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส พีเอช 4.3 ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด และเมื่อทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันก็พบว่า สารสกัดจากแครอทสีดํา ที่สกัดที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส แสดงความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิเดนต์ที่ดีกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส

Chandrika และ Fereidoon (2005) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากข้าวสาลีโดยเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการสกัด พบว่าการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากข้าวสาลีโดยทำการสกัดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง และยังมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันดีกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส และใช้เวลาการสกัดน้อยกว่า 12 ชั่วโมง

Pena-Ramos และ Xiong (2003) ศึกษาโปรตีนเว็กซ์กักและโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ยับยั้งลิพิดออกซิเดชันในแพตตีหมู โดยทำการย่อยโปรตีนเว็กซ์และโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์ แล้วนำมาทดสอบความสามารถในการต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชันเปรียบเทียบกับโปรตีนเว็กซ์กักและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ไม่ผ่านการดัดแปร พบว่าโปรตีนเว็กซ์กักและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถยับยั้งการฟอร์มตัวของ คอนจูเกตเต็ดไดอิน (conjugated dienes) และความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา ลิพิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมันในแพตตีหมูที่ทดสอบด้วยวิธีการ TBARS ได้ดีกว่าโปรตีนเว็กซ์และโปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการดัดแปร

Juntachote และคณะ (2007) ศึกษาผลของผงข่าแห้ง และสารสกัดจากข่าต่อความคงตัวของการเกิดออกซิเดชันในเนื้อหมูบด โดยเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของผงข่าแห้ง (0.05%, 0.1% และ 0.15% w/w) และสารสกัดจากข่า (0.17%, 0.43% และ 0.51% w/w) พบว่าเนื้อหมูบดที่ใช้ผงข่าแห้งและสารสกัดจากข่าแสดงการยับยั้งการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการใส่ผงข่าแห้งที่ระดับ 0.15% และสารสกัดจากข่าที่ระดับ 0.51% สามารถยับยั้งการเกิด TBARS (thiobarbituric acid-reactive substances), ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value), คอนจูเกตเต็ดไดอิน (conjugated dienes) และ เฮกซานอล คอนเทน (hexanol content) ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม